施硒对3个香蕉品种植株生长、生理及果实品质的影响

刘洁云[1]，田青兰[1]，黄伟华[1]，吴艳艳[1]，彭嘉宇[2]，张英俊[1]，谢如林[2]，韦绍龙[3]，牟海飞[1*]，韦弟[1]
（1. 广西壮族自治区农业科学院 生物技术研究所，南宁 530007；2. 广西壮族自治区农业科学院 农业资源与环境研究所，南宁 530007；3. 广西壮族自治区农业科学院，南宁 530007）

摘要：该文以‘南天黄’‘中蕉9号’‘红香蕉’3个香蕉品种为试验材料，研究土壤淋施硒酸钠溶液对香蕉植株生长、果实产量和品质，以及叶片MDA、脯氨酸、硒含量的影响，为富硒香蕉的生产栽培提供理论依据。结果表明：0.25、0.50 g·株$^{-1}$施硒处理能显著促进3个香蕉品种株高的增长，对‘南天黄’‘红香蕉’基茎围的增长促进作用显著，对‘中蕉9号’基茎围促进作用不显著。施硒对植株营养生长过程中叶片MDA含量的影响较小，只在部分时间段MDA含量显著升高或降低。0.25、0.50 g·株$^{-1}$的硒酸钠处理能显著降低3个香蕉品种叶片中脯氨酸含量。施硒对香蕉叶片中硒含量具有显著影响，施硒浓度越高，叶片中硒含量越高。施硒能显著提高各香蕉品种单株产量，对‘中蕉9号’‘红香蕉’单果重促进作用显著，对‘南天黄’单果重促进作用不显著。0.25 g·株$^{-1}$硒处理‘中蕉9号’单株产量24.38 kg，单果重165.86 g，分别比对照高出了12.80%、14.69%。土施适宜浓度的硒酸钠能提高香蕉果实中维生素C、钾含量，‘南天黄’‘中蕉9号’‘红香蕉’3个香蕉品种施硒后维生素C含量最高值可达到12.7、13.9、10.6 mg·100g^{-1}，比对照分别提高了12.72%、18.83%、29.39%；钾含量最高可达349、279、397 mg·100g^{-1}，比对照分别提高29.62%、33.28%、47.77%。硒处理浓度越高，果实中硒含量越高。对照处理的香蕉果实硒含量未达到富硒标准，经0.25、0.50 g·株$^{-1}$硒酸钠处理后3个香蕉品种的果实硒含量均达到富硒标准。综上结果表明，土壤淋施硒酸钠溶液能提高香蕉果实中的硒含量，促进香蕉植株生长、提升果实品质，且对降低叶片中MDA和脯氨酸含量具有一定影响，但对不同香蕉品种的影响效果存在差异。

关键词：香蕉，硒，生长指标，生理特性，果实品质
中图分类号：Q945.14　　　　**文献标识码：**A

Effects of selenium application on plant growth, physiology and fruit quality of three varieties of banana

LIU Jieyun[1], TIAN Qinglan[1], HUANG Weihua[1], WU Yanyan[1], PENG Jiayu[2], ZHANG Yingjun[1], XIE Rulin[2], WEI Shaolong[3], MOU Haifei[1*], WEI Di[1]
(1. *Biotechnology Research Institute*, *Guangxi Academy of Agricultural Sciences*, Nanning 530007, China; 2. *Agricultural Resource and Environment Research Institute*, *Guangxi Academy of Agricultural Sciences*, Nanning 530007, China; 3. *Guangxi Academy of Agricultural Sciences*, Nanning 530007, China)

Abstract: The effects of sodium selenate solutions on the plant growth, yield, fruit quality， contents of MDA,

收稿日期：2020-11-17
基金项目：广西科技重大专项（桂科AA18118028，桂科AA18118028-4）；广西香蕉创新团队栽培岗位专家项目（nycytxgxcxtd-16-02）；广西农业科学院基本科研业务专项（桂农科2018YT19）[Major Science and Technology Projects of Guangxi (Guike AA18118028, Guike AA18118028-4); Cultivation Post Expert Project of Guangxi Banana Innovation Team (nycytxgxcxtd-16-02); Basic Scientific Research Project of Guangxi Academy of Agricultural Sciences (Guinongke 2018YT19)]。
作者简介：刘洁云（1988—），女，湖南省资兴市，硕士，助理研究员，研究方向为热带果树栽培与遗传育种，(E-mail) 1064776742@qq.com。
***通信作者：**牟海飞，硕士，研究员，研究方向为热带、亚热带特色作物种质资源收集评价及开发利用，(E-mail) haifei5052@126.com。

proline and selenium in the leaves using three banana varieties 'Nantianhuang' 'Zhongjiao 9' and 'Hongxiangjiao' were studied. These findings will provides a theoretical basis for the production and cultivation of selenium enriched banana. The results were showed that application of 0.25 and 0.50 g·plant^{-1} selenium could significantly increased plant height of three banana varieties and the growth of basal stem circumference of 'Nantianhuang' and 'Hongxiangjiao', but not 'Zhongjiao 9'. The application of selenium had little effect on MDA content in leaves during vegetative growth, and MDA content increased or decreased significantly only in part time. The proline content in leaves of the three banana varieties were significantly reduced at 0.25 and 0.50 g·plant^{-1} sodium selenate. Selenium has a significant effect on selenium content in leaves. The higher selenium concentration, the higher the selenium content in leaves. The application of selenium could significantly increase the yield of banana and the single fruit finger weight of 'Zhongjiao 9' and 'Hongxiangjiao'. The yield per plant and single fruit finger weight of 'Zhongjiao 9' at 0.25 g·plant^{-1} selenium were 24.38 kg and 165.86 g, which were 12.80% and 14.69% higher than the check (CK). The suitable concentration of sodium selenite could effectively increase the content of vitamin C and potassium in fruits. The highest vitamin C contents of 'Nantianhuang', 'Zhongjiao 9' and 'Hongxiangjiao' were 12.7, 13.9 and 10.6 mg·100g^{-1}, which were 12.72%, 18.83% and 29.39% higher than CK. And the highest contents of potassium were 349, 279 and 397 mg·100g^{-1}, which were 29.62%, 33.28% and 47.77% higher than CK. The higher the concentration of selenium treatments, the higher the content of selenium in fruits. The selenium content of fruits in CK did not reach the standard of selenium content. The three banana varieties reached the standard of selenium content after treatment with 0.25 and 0.50 g·plant^{-1} selenium. In conclusion, the application of sodium selenate solutions in soil can increase the content of selenium in banana fruits, promote the plant growth, improve fruit quality of banana, and decrease the content of MDA and proline in leaves. However, there are differences in the effects of various banana varieties.

Keywords: banana, selenium, growth index, physiological property, fruit quality

硒被认为是一种矿物质微量营养素，具有独特的物理和化学性质（Broadley et al., 2006）。1957 年硒首次被认为对人类健康存在影响，此时距其被发现已近一个世纪。目前，硒已被确认为是人和动物必需的微量元素，适量补硒可预防因缺乏维生素 E 而引起的肝坏死、心血管疾病、肌肉紊乱疾病、癌症等（Cobo-Angel et al., 2014; Moghadaszadeh & Beggs, 2006）。硒酸盐是心血管系统中一种重要的抗氧化剂（Zhang et al., 2019）。2019 年，欧盟动物饲料添加剂和产品（FEEDAP）研究小组对硒酸钠作为反刍动物营养饲料添加剂的安全性和有效性进行了评估，确认了硒酸钠是一种能够满足动物需求的有效硒源（Bampidis et al., 2019）。植物硒被认为是人体硒摄入的主要来源（Rayman, 2008）。硒也是一种对植物生长有益的微量元素。适量的硒有助于促进植物叶绿素的合成、增强新陈代谢、提高光合效率及对矿质元素的转运与积累等（Khaliq et al., 2015; Xue et al., 2001；赵巍，2011）。通常我们将土壤中的硒划分为以下几种形式：元素态硒、硒酸盐和亚硒酸盐、金属硒化物、有机结合态和小分子有机硒化物（赵中秋等，2003）。硒酸盐易溶于水，不被土壤粘粒吸附，很容易淋滤和迁移，是植物的主要可利用态硒（陈松灿等，2014）。

香蕉营养价值丰富，具有多种生理功能（唐健，2015）。其产量和贸易量在全球居于首位，也是全球十大主食之一（Dita et al., 2018）。目前有关施硒对香蕉生长、生理等方面的影响的研究甚少。张远飞等（2018）研究 4 种含硒肥料叶面喷施对香蕉的影响，结果表明喷施硒肥后香蕉产量及果实硒含量均有一定程度的提高。但缺乏施硒对香蕉植株生理及果实营养成分的影响相关的研究。本试验通过土壤淋施硒酸钠溶液，研究施硒对 3 个香蕉品种株高、基茎围、果实营养和硒含量的影响，以及植株叶片中丙二醛（malondialdehyde, MDA）、脯氨酸及硒含量的动态变化。旨在对比土壤施硒对不同香蕉品种影响的差异，筛选适宜的施硒浓度，为富硒香蕉的生产栽培提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

试验于 2018 年 10 月-2020 年 4 月在广西农业科学院里建科学研究基地进行。土壤基本理化性状：pH 值 6.70，有机质含量 22.8 g·kg^{-1}，全氮 2.42 g·kg^{-1}，全磷 0.975 g·kg^{-1}，全钾 2.33 g·kg^{-1}，水解性氮 113 mg·kg^{-1}，有效磷 21.9 mg·kg^{-1}，速效钾 226 mg·kg^{-1}，全硒 0.380 mg·kg^{-1}。供试香蕉品种为'南天黄''中蕉 9 号''红香蕉'。

1.2 方法

试验采用两因素试验设计，A 因素为施硒酸钠的 4 个水平：0（CK）、0.25、0.50、0.75 g·株$^{-1}$，B 因素为 3 个香蕉品种。每个处理 6 株，3 次重复。'南天黄'4 个处理依次编号为 N1、N2、N3、N4；'中蕉 9 号'4 个处理依次编号为 Z1、Z2、Z3、Z4；'红香蕉'4 个处理依次编号为 H1、H2、H3、H4。试验香蕉苗为 8-9 叶龄组培营养杯苗，2018 年 10 月 12 日筛选生长较一致的健壮植株种植于基地，行距 200 cm，株距 300 cm，每亩种植 111 株。2019 年 5 月 6 日在香蕉植株营养生长旺盛期进行施硒处理，将硒酸钠（Na_2SeO_4，纯度≥98%）溶于 1 L 的水中，一次性均匀淋在植株根周，对照为淋 1L 清水。采用随机区组试验设计，设保护行。各处理水肥及病虫害等统一管理，每亩施有机肥 700 kg，K_2O 54 kg，氮肥、磷肥、钾肥按 N:P_2O_5:K_2O=1:0.5:2 施用。

分别于 5 月 6 日施硒前（0 d），以及施硒后 30、60、90、120、150 d 测量株高、基茎围，取从上往下数第 3 片完全展开叶片的中部检测 MDA、脯氨酸和全硒含量，2019 年 10 月各品种陆续进入抽蕾期，每个果穗留 7 梳。2020 年 2 月至 4 月在香蕉果实达到 7 成熟时采收，测量单株产量、单果重，取第 3 梳果实催熟后检测果肉可溶性糖、总酸、维生素 C、蛋白质、钾、全硒含量。每个处理选择长势均匀的 3 株测量，3 次重复。

株高、单株产量、单果重参照黄秉智等（2006）的方法测量；基茎围用软尺测量植株基部与土壤交界处的周长；MDA、脯氨酸采用郝建军等（2006）的方法检测；叶片、果实全硒含量及果实营养指标委托广西益普检测技术有限公司参照相关标准检测，全硒含量参照 GB 5009.93-2017 检测，可溶性糖含量参照 NY/T 2742-2015 检测，总酸含量参照 SB/T 10203-1994 检测，维生素 C 含量参照 GB 5009.86-2016 检测，蛋白质含量参照 GB 5009.5-2016 检测，钾含量参照 GB 5009.91-2017 检测。

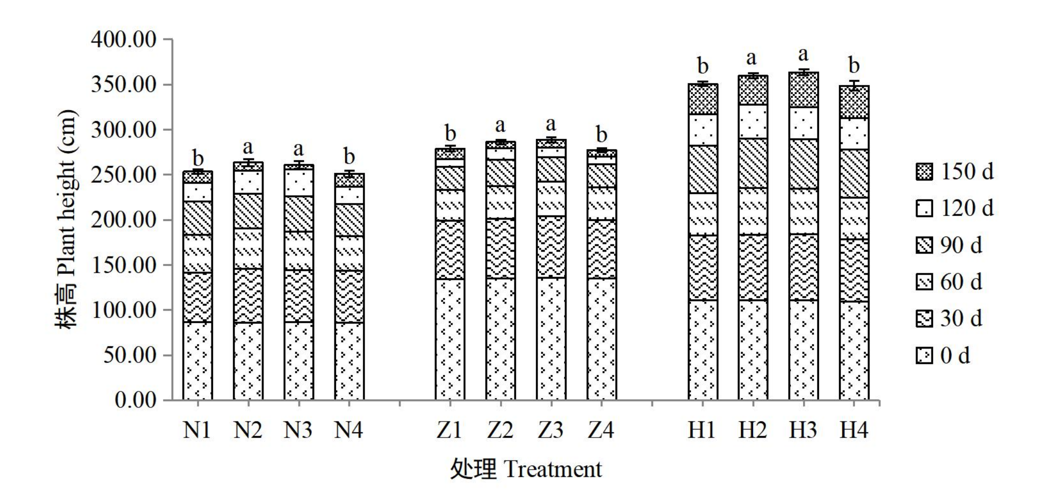
1.3 数据处理

采用 Excel2007 进行统计分析，SPSS19.0 软件进行多重比较检验差异显著性。

2 结果与分析

2.1 施硒对 3 个香蕉品种株高的影响

如图 1 所示，随着施硒量的增加 3 个香蕉品种株高呈先增高后降低的趋势。'南天黄'N2、N3 处理 60 d 后株高显著高于 N1，处理 150 d 时株高分别为 263.62、260.82 cm，比对照处理提高 3.99%、2.89%；N4 处理 90~120 d 时株高显著低于 N1，处理 150 d 时株高与 N1 差异不显著。'中蕉 9 号'Z2 处理 60 d 后株高显著高于 Z1，处理 150 d 株高为 286.28 cm，比对照处理提高 2.71%；Z3 处理 30 d 后株高显著高于 Z1，处理 150 d 株高为 288.74 cm，比对照处理提高 3.59%；Z4 处理株高与 Z1 差异不显著。'红香蕉'H2、H3 处理 30 d 后株高显著高于 H1，处理 150 d 株高分别为 359.61、363.50 cm，比对照处理提高 2.55%、3.66%；H4 处理 60 d 时株高显著低于 H1，之后与 H1 差异不显著。由此可知，土施 0.25、0.50 g·株$^{-1}$ 的的硒酸钠能显著促进'南天黄''中蕉 9 号''红香蕉'3 个香蕉品种株高的增长。



注：同一组柱形图上的不同小写字母表示差异显著（*P*<0.05），无字母或出现相同字母则表示差异不显著。图 2、图 6 同此。

Note: Different lowercase letters in the same group of the bar charts indicate significant difference (*P*<0.05). No letter or the same letter indicates no significant difference. Fig. 2 and fig. 6 are the same.

图 1　施硒对 3 个香蕉品种株高的影响

Fig.1　Effects of selenium application on plant height of three banana varieties

2.2 施硒对 3 个香蕉品种基茎围的影响

如图 2 所示，‘南天黄’N2、N3 处理 60 d 后基茎围显著高于 N1，处理 150 d 基茎围分别为 87.96、88.77 cm，比对照处理提高 6.30%、7.28%；N4 基茎围与 N1 差异不显著。‘中蕉 9 号’Z3 处理 30～90 d 基茎围显著高于 Z1，处理 120 d 后与 Z1 差异不显著；Z2、Z4 基茎围与 Z1 差异不显著。‘红香蕉’H3 处理 90 d、150 d 基茎围显著高于 H1，处理 150 d 基茎围为 100.66 cm，比对照处理提高 4.62%；H2、H4 基茎围与 H1 差异不显著。由此可知，土施 0.25、0.50 g·株$^{-1}$ 的硒酸钠能显著促进‘南天黄’基茎围的增长，0.50 g·株$^{-1}$ 的硒酸钠处理显著促进‘红香蕉’基茎围的增长，本试验中的施硒处理对‘中蕉 9 号’基茎围的促进作用不明显。

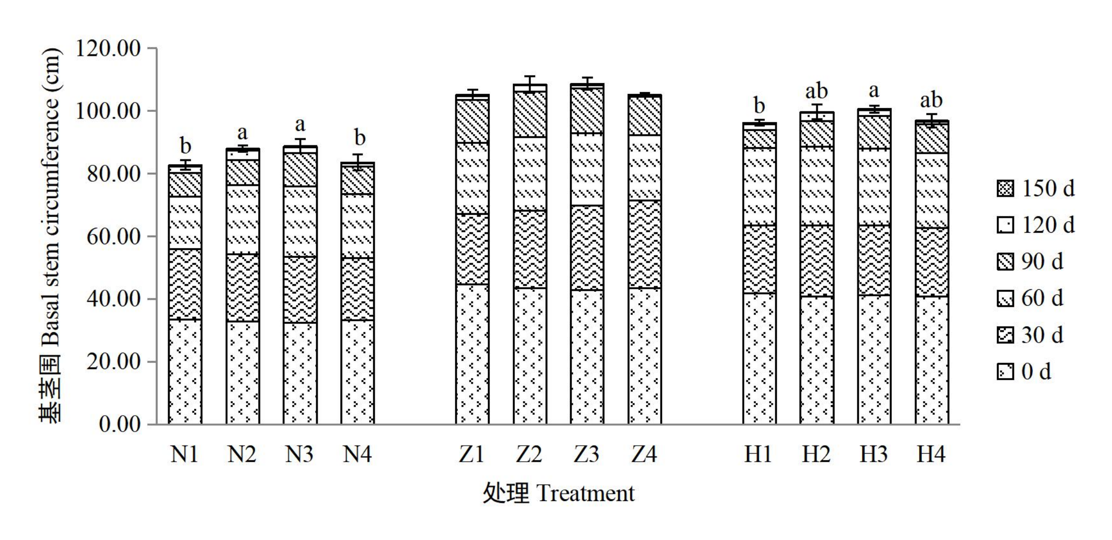


图 2　施硒对 3 个香蕉品种基茎围的影响

Fig.2　Effects of selenium application on basal stem circumference of three banana varieties

2.3 不同施硒处理 3 个香蕉品种叶片中 MDA 含量的变化

如图 3 所示，‘南天黄’N2 处理叶片中 MDA 含量在处理 30 d 时显著高于 N1，120 d 时显著低于 N1，其他时间段与 N1 差异不显著；N3 处理 30 d 时，MDA 含量显著高于 N1，90～120 d 时显著低于 N1；N4 处理 30 d 时，MDA 含量显著高于 N1；各处理其他时间段与 N1 差异不显著。‘中蕉 9 号’Z2、Z3 处理各时间段叶片中 MDA 含量与 Z1 差异不显著；Z4 处理 MDA 含量 90 d 时，显著高于 Z1，其他时间段与 Z1 差异不显著。‘红香蕉’H3 处理 60～90 d 时，叶片中 MDA 含量显著低于 H1，其他时间段 MDA 含量与 H1 差异不

显著；H2、H4 处理 MDA 含量与 H1 差异不显著。由此可知，施硒对 3 个香蕉品种营养生长阶段叶片中 MDA 含量产生影响，适宜浓度的硒酸钠在部分营养生长阶段对降低‘南天黄’‘红香蕉’叶片中 MDA 含量具有一定效果。

30.0
25.0
20.0
15.0
10.0
丙二醛含量
MDA content (nmol·g-1)
0 30 60 90 120 150
处理时间 Treatment time (d)
N1
N2
N3
N4

35.0
30.0
25.0
20.0
15.0
10.0
丙二醛含量
MDA content (nmol·g-1)
0 30 60 90 120 150
处理时间 Treatment time (d)
Z1
Z2
Z3
Z4

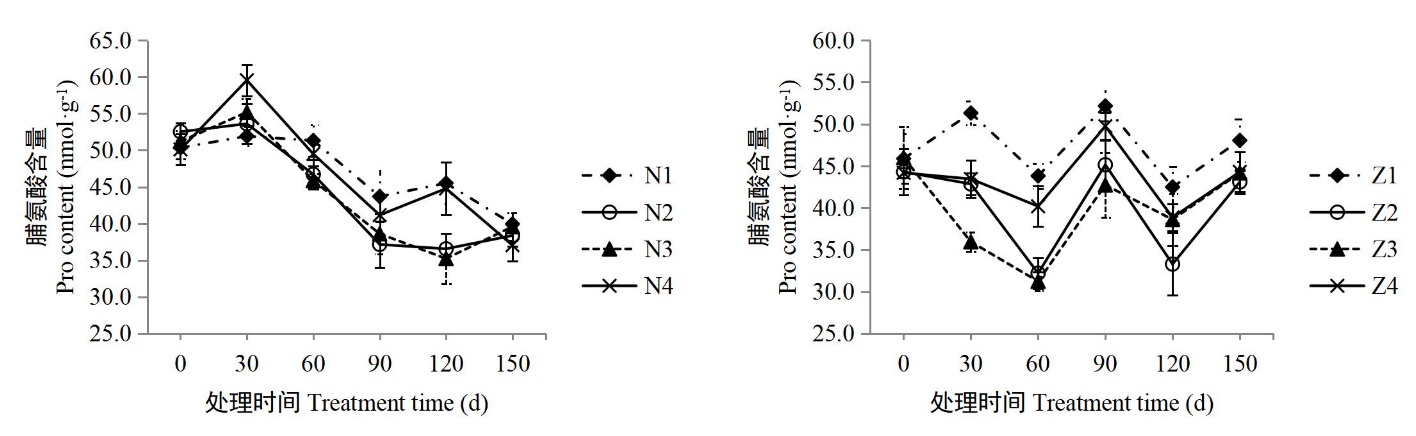
40.0
35.0
30.0
25.0
20.0
15.0
10.0
丙二醛含量
MDA content (nmol·g-1)
0 30 60 90 120 150
处理时间 Treatment time (d)
H1
H2
H3
H4

图 3 不同施硒处理 3 个香蕉品种叶片中 MDA 含量的变化

Fig.3 Effect of selenium application on MDA content in leaves of three banana varieties

2.4 不同施硒处理 3 个香蕉品种叶片中脯氨酸含量的变化

如图 4 所示，‘南天黄’N2 处理 60～120 d 时，叶片中脯氨酸含量显著低于 N1，其他时间段与 N1 差异不显著；N4 处理 30 d 时，脯氨酸含量显著高于 N1，处理 150 d 时显著低于 N1。‘中蕉 9 号’施硒后各时间段叶片中脯氨酸含量均低于对照，Z2 处理 30～150 d 脯氨酸含量显著低于 Z1；Z3 处理 30～120 d 时脯氨酸含量显著低于 Z1。‘红香蕉’H2 处理 30～90 d 时，脯氨酸含量显著低于 H1；H3 处理 30～120 d 时，脯氨酸含量显著低于 H1；处理 150 d 时各施硒处理与对照差异不显著。由此可知，施硒对降低 3 个香蕉品种叶片中脯氨酸含量具有明显效果，‘南天黄’‘中蕉 9 号’以 0.25 g·株$^{-1}$ 的硒酸钠处理效果最佳，‘红香蕉’以 0.50 g·株$^{-1}$ 的硒酸钠处理为宜。



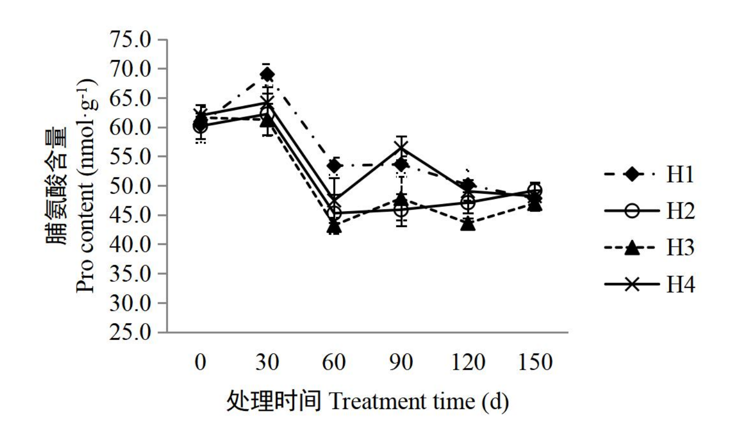


图 4　不同施硒处理 3 个香蕉品种叶片中脯氨酸含量的变化

Fig.4　Effect of selenium application on proline content in leaves of three banana varieties

2.5 不同施硒处理 3 个香蕉品种叶片中硒含量的变化

如图 5 所示，施硒后 3 个香蕉品种叶片中硒含量显著增加，施硒浓度越高硒含量越高，同一香蕉品种相同时间段各处理间差异显著。3 个香蕉品种各处理营养生长过程中叶片硒含量的变化趋势一致，处理 30 d 时硒含量增加到最高值，处理 60～90 d 下降趋势较大，之后趋于平缓。‘中蕉 9 号’各施硒处理各时间段叶片中的硒含量均小于‘南天黄’和‘红香蕉’。由此可知，本试验中施硒能提高 3 个香蕉品种叶片中的硒含量。

硒含量 Se content (mg·kg-1)
处理时间 Treatment time (d)
N1 N2 N3 N4

硒含量 Se content (mg·kg-1)
处理时间 Treatment time (d)
Z1 Z2 Z3 Z4

硒含量 Se content (mg·kg-1)
处理时间 Treatment time (d)
H1 H2 H3 H4

图 5　不同施硒处理 3 个香蕉品种叶片中硒含量的变化

Fig.5　Effect of selenium application on Se content in leaves of three banana varieties

2.6 施硒对 3 个香蕉品种产量的影响

如图 6 所示，‘南天黄’N2 处理单株产量显著高于 N1，为 21.49 kg，比对照处理提高 8.34%；‘南天黄’各施硒处理单果重与对照差异不显著。‘中蕉 9 号’Z2 处理单株产量显著高于 Z1，为 24.38 kg，比对照处理提高 12.80%；‘中蕉 9 号’Z2 处理单果重显著高于 Z1，为 165.86 g，比对照处理提高 14.69%。‘红香蕉’各施硒处理的单株产量和单果重均显著高于 H1，其中 H4 的单株产量和单果重最高，分别为 12.78 kg、122.20 g，比对照处理提高 12.12%、18.64%。由此可知，适量施硒对 3 个香蕉品种单株产量的增加具有显著的促进作用，对‘中蕉 9 号’‘红香蕉’单果重的促进作用明显。

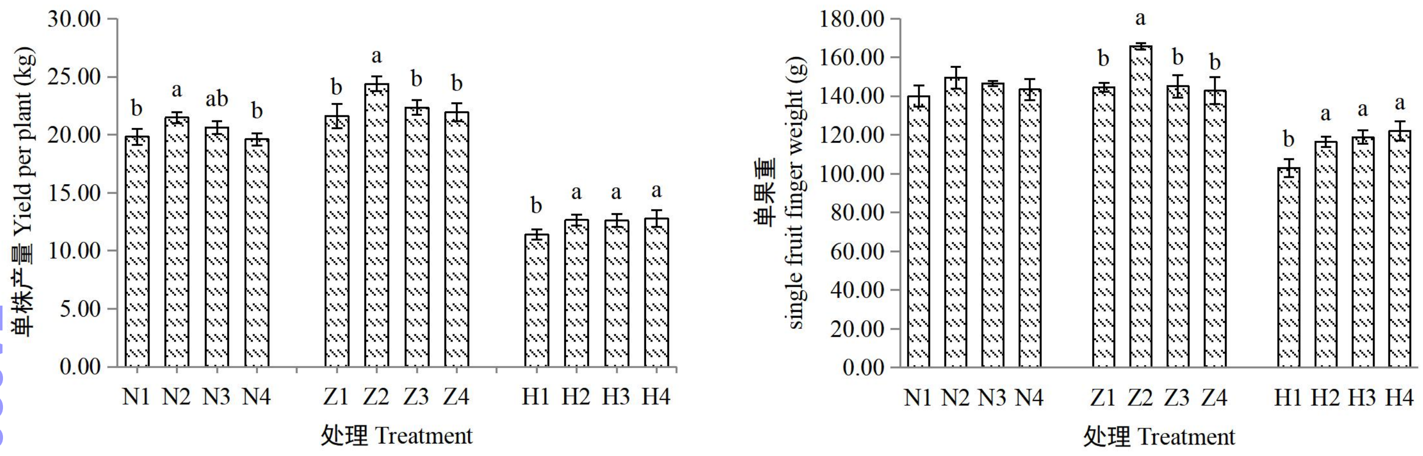


图 6　施硒对 3 个香蕉品种产量的影响

Fig. 6　Effects of selenium application on yield of three banana varieties

2.7 施硒对 3 个香蕉品种果实品质的影响

如表 1 所示，‘南天黄’各施硒处理果实中可溶性糖含量均显著高于 N1；维生素 C 含量与钾含量的变化趋势一致，N2 处理显著高于 N1 及其他施硒处理，N3 处理显著高于 N1；施硒后香蕉果实维生素 C、钾含量最高可达到 12.7、349 mg·100g^{-1}，比对照处理分别提高 12.72%、29.62%。‘中蕉 9 号’Z3 处理果实中的维生素 C 含量显著高于 Z1，为 13.9 mg·100g^{-1}，比对照处理提高 18.84%，Z2、Z4 处理与 Z1 差异不显著；Z3、Z4 处理果实中钾含量显著高于 Z1，Z3 处理钾含量为 279 mg·100g^{-1}，比对照处理提高 33.28%。‘红香蕉’H4 处理果实中可溶性糖含量显著低于 H1，H2、H3 处理与 H1 差异不显著；维生素 C 含量 H3 处理显著高于对照和其他施硒处理，为 10.6 mg·100g^{-1}，比对照处理提高 29.39%，H2 处理显著高于 H1；各施硒处理果实中的钾含量均显著高于 H1，施硒浓度越高，钾含量越高，H4 处理钾含量达 397 mg·100g^{-1}，比对照处理提高 47.77%。3 个香蕉品种果实中的硒含量随施硒浓度的增加而增加，各施硒处理均显著高于对照。由此可知，土施适宜浓度的硒酸钠能有效提高 3 个香蕉品种果实中维生素 C、钾、硒含量，对‘南天黄’香蕉果实中可溶性糖含量的增加具有明显的促进作用。

表 1　施硒对 3 个香蕉品种果实品质的影响

Table 1　Effects of selenium application on fruit quality of three banana varieties

处理 Treatment	可溶性糖 Soluble sugar (%)	总酸 Total acid (g·100g^{-1})	维生素 C VC (mg·100g^{-1})	蛋白质 Protein (mg·100g^{-1})	钾 K (mg·100g^{-1})	硒 Se (μg·kg^{-1})
N1	17.0±0.7b	0.287±0.031	11.3±0.6c	1.15±0.11	269±17c	2.80±0.44d
N2	18.5±0.4a	0.237 ±0.023	12.7±0.6a	1.08±0.06	349±23a	34.0±9.9c
N3	18.5±0.6a	0.267±0.040	12.0±0.5b	1.24±0.09	317±11b	64.7±10.0b
N4	18.8±0.5a	0.260±0.020	11.4±0.5bc	1.17±0.10	247±16c	108±13a
Z1	18.0±0.3	0.333±0.023	11.7±0.5b	1.33±0.10	209±13b	5.60±1.15d
Z2	18.4±0.7	0.397±0.053	12.1±0.6b	1.33±0.04	218±9b	34.0±6.2c
Z3	18.2±0.9	0.360±0.036	13.9±0.5a	1.36±0.09	279±16a	76.0±9.2b

Z4	17.5±0.2	0.337±0.025	12.3±0.5b	1.31±0.04	272±14a	103±15a
H1	19.8±0.8a	0.147±0.012	8.2±0.7c	1.63±0.09	269±17c	5.97±0.51c
H2	20.5±0.8a	0.150±0.010	9.7±0.6ab	1.64±0.04	350±12b	30.0±7.9c
H3	20.2±0.5a	0.140±0.017	10.6±0.4a	1.56±0.05	389±11a	73.0±5.3b
H4	18.2±0.6b	0.137±0.006	8.9±0.3bc	1.47±0.12	397±7a	160±26a

注：同列数据后不同小写字母表示差异显著（P<0.05），无字母或出现相同字母则表示差异不显著。

Note: Different lowercase letters after the same column of data indicate significant difference (P<0.05). No letter or the same letter indicates no significant difference.

3 讨论与结论

3.1 施硒对香蕉植株生长的影响

已有研究表明，适量浓度的硒能够促进植物生长发育，硒浓度过高时，对植物生长具有抑制作用（Guerrero et al., 2014）。土施硒酸钠对作物生长的促进作用在冬小麦、小白菜上均有报导（付冬冬等，2011; 李伟等，2018）。香蕉作为大型草本植物，植株生长健壮有利于抗倒伏及后期产量的形成。本试验中土施 0.25、0.50 g·株$^{-1}$ 的硒酸钠对‘南天黄’‘中蕉 9 号’‘红香蕉’3 个香蕉品种的株高增长促进作用显著，但促进作用起始时间存在差异。施硒对 3 个香蕉品种基茎围的影响存在差异，土施适量的硒对‘南天黄’‘红香蕉’基茎围增长的促进作用显著，对‘中蕉 9 号’基茎围的促进作用不显著。杜少平等（2020）研究表明适量的外源硒肥可促进西瓜对矿质元素的吸收，进而促进西瓜产量和品质的形成。本试验结果表明，土施适量的硒酸钠能显著促进 3 个香蕉品种产量的形成，‘南天黄’‘中蕉 9 号’均在 0.25 g·株$^{-1}$ 时产量最高，‘红香蕉’各施硒处理产量差异不显著。施硒对‘南天黄’单果重影响不显著，对‘中蕉 9 号’‘红香蕉’单果重的影响趋势与产量相似。说明适量施硒能有效促进香蕉植株生长健壮，提高果实产量。

3.2 施硒对香蕉叶片中生理指标的影响

植物处于逆境条件下或器官衰老时，会发生质膜过氧化作用，产生的 MDA 会对生物膜造成严重损伤，MDA 积累过多会降低抗衰老能力和植物抗逆性。逆境胁迫或早衰会使植物体内脯氨酸积累增多，可以通过脯氨酸反映植物的氧化衰老状况。刘群龙等（2014）研究表明喷施低浓度的亚硒酸钠可降低梨树叶片 MDA 和脯氨酸的含量。本试验中，土施硒酸钠对‘南天黄’‘红香蕉’叶片 MDA 含量存在一定影响，植株生长过程中部分时间段 0.50 g·株$^{-1}$ 硒处理叶片中 MDA 含量显著降低。施硒对‘中蕉 9 号’叶片中 MDA 含量影响不显著。土施适量浓度的硒酸钠对降低 3 个香蕉品种叶片中脯氨酸含量均具有明显效果，0.25 g·株$^{-1}$ 的硒酸钠处理在‘中蕉 9 号’的整个营养生长期叶片脯氨酸含量显著降低，其他两个香蕉品种则只在部分生长阶段脯氨酸含量显著降低。

3.3 施硒对香蕉果实品质的影响

施硒对果树果实营养成分的积累具有一定的促进作用，这可能与硒参与了植物体内的生理生化代谢有关。印宁等(2020)研究了叶面施硒对 3 个葡萄品种果实品质的影响，认为施硒能显著提高各品种葡萄果实的综合品质，显著提高可溶性糖、可溶性蛋白、可溶性固形物含量，显著降低有机酸。戚霄晨等(2019)研究认为施硒能显著提高樱桃果实维生素 C 含量，降低可滴定酸含量，对可溶性固形物影响不显著。本试验结果表明，施硒能显著提高 3 个香蕉品种果实中维生素 C 和钾含量，显著提高‘南天黄’果实中可溶性糖含量。施硒后 3 个香蕉品种果实中总酸和蛋白质含量变化不显著。已有研究表明，硒与矿质元素间存在交互作用。张世博（2020）研究认为外源 Se 通过双重协同作用促进芽菜 Zn 的吸收，且对土壤中不同形态钾素含量及果实中钾含量存在影响。本研究表明适宜的硒浓度能促进香蕉果实钾元素的吸收。

3.4 施硒对香蕉叶片及果实硒累积的影响

施硒能显著提高香蕉叶片和果实中的硒含量，施硒浓度越高叶片和果实中硒含量越高。3 个香蕉品种植株进入生殖生长期后，施硒处理叶片硒含量最低为 0.47 mg·kg^{-1}，最高为 2.63 mg·kg^{-1}，均显著高于对照处理的硒含量。根据 DB45/T 1061-2014，富硒水果适宜硒含量为 10～100 μg·kg^{-1}，不施硒时香蕉果实中的硒含量未达到富硒标准，土施 0.25、0.50 g·株$^{-1}$ 硒酸钠处理 3 个香蕉品种果实中硒含量均达到富硒标准，0.75 g·株

-1 硒酸钠处理 3 个香蕉品种果实中硒含量超出富硒标准的上限。在实际生产过程中应注意硒的施用量，避免出现果实中硒过量情况。

参考文献：

BAMPIDIS V, AZIMONTI G, BASTOS MDL, et al., 2019. Safety and efficacy of sodium selenate as feed additive for ruminants[J]. EFSA J, 17(7): 5788.

BROADLEY MR, WHITE PJ, BRYSON RJ, et al., 2006. Biofortification of UK food crops with selenium[J]. Proc Nutr Soc, 65(2): 169–181.

CHEN SC, SUN GX, CHEN Z, et al., 2014. Progresses on selenium metabolism and interaction with heavy metals in higher plants[J]. Plant Physiolo J, 50(5): 612-624. [陈松灿，孙国新，陈正，等，2014. 植物硒生理及与重金属交互的研究进展[J]. 植物生理学报，50(5)：612-624.]

COBO-ANGEL C, WICHTEL JJ, CEBALLOS-MARQUEZ A, 2014. Selenium in milk and human health[J]. Anim Front, 4(2): 38–43.

DITA M, BARQUERO M, HECK D, et al., 2018. Fusarium wilt of banana: Current knowledge on epidemiology and research needs toward sustainable disease management[J]. Front Plant Sci, 9: 1468.

DU SP, MA ZM, XUE L, 2020. Effect of spraying with selenium fertilizer on yield, quality and nutrient absorption of watermelon in gravel-mulched field[J]. J Fruit Sci, 37(5): 705-713. [杜少平，马忠明，薛 亮，2020. 喷施硒肥对砂田西瓜产量、品质及养分吸收的影响[J]. 果树学报，37(5)：705-713.]

FU DD, WANG SS, LIANG DL, et al., 2011. Effects of exogenetic selenite and selenate on the growth and physiological metabolism of winter wheat[J]. J Agro-Environ Sci, 30(8): 1500-1507. [付冬冬，王松山，梁东丽，等，2011. 不同价态外源硒对冬小麦生长及生理代谢的影响[J]. 农业环境科学学报，30(8)：1500-1507.]

GUERRERO B, LLUGANY M, PALACIOS O, et al., 2014. Dual effects of different selenium species on wheat[J]. Plant Physiol Biochem, 83: 300-307.

HAO JJ, KANG ZL, YU Y et al., 2006. Experimental techniques in plant physiology[M]. Beijing: Chemical Industry Press: 159-176.[郝建军，康宗利，于洋，等，2006. 植物生理学实验技术[M]. 北京：化学工业出版社：159-176.]

HUANG BZ, 2006. Description specification and data standard of banana germplasm resources[M]. Beijing: China Agriculture Press: 71-90. [黄秉智，2006. 香蕉种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京：中国农业出版社：71-90.]

KHALIQ A, ASLAM F, MATLOOB A, et al., 2015. Seed priming with selenium: Consequences for emergence, seedling growth, and biochemical attributes of rice[J]. Biol Trace Elem Res, 166(2): 236-244.

LI W, FAN J, YE XJ, et al., 2018. Effects of selenium with different valences on growth of *Brassica chinensis* and selenium species in soil[J]. J Hubei Univ Nation (Nat Sci Ed), 36(1): 18-21. [李伟，樊俊，叶小江，等，2018. 不同价态硒对小白菜生长及土壤硒形态的影响[J]. 湖北民族学院学报（自然科学版）， 36(1)：18-21.]

LIU QL, NING CJ, HAO YY, et al., 2014. Effects of exogenous selenium on leaf senescence and photo-assimilates in pear leaves during the senescing period[J]. J Soil Water Conserv, 28(6): 314-318. [刘群龙，宁婵娟，郝燕燕，等，2014. 外源硒对梨树叶片衰老和光合同化物积累的影响[J]. 水土保持学报，28(6)：314-318.]

MOGHADASZADEH B, BEGGS AH, 2006. Selenoproteins and their impact on human health through diverse physiological pathways[J]. Physiol, 21: 307-315.

QI XC, JIAN ZH, ZHANG Q, et al., 2019. Effects of foliar application of selenium on selenium and heavy metal contents and fruit quality in sweet cherry[J]. J Fruit Sci, 36(6): 748-754. [戚霄晨，简在海，张琦，等，2019. 叶面喷施硒对甜樱桃硒和重金属含量及果实品质的影响[J]. 果树学报，36(6)：748-754.]

RAYMAN MP, 2008. Food-chain selenium and human health: emphasis on intake[J]. Brit J Nutr, 100(2): 254-268.

TANG J, 2015. Studies on the preparation, safety, defecation function and weight loss of banana resistance starch[D]. Guangzhou: South China Agricultural University: 104-108. [唐健，2015. 香蕉抗性淀粉制备、安全性及通便和减肥功能研究[D]. 广州：华南农业大学：104-108.]

XUE T, HARTIKAINEN H, PIIRONEN V, 2001. Antioxidative and growth-promoting effect of selenium on senescing lettuce[J]. Plant Soil, 237: 55-61.

YIN N, MU L, LIANG YL, et al., 2020. Effects of foliar selenium fertilizer on fruit yield, quality and selenium content of three varieties of *Vitis vinifera*[J]. Chin J Appl Ecol. 31(3): 953-958. [印宁，穆兰，梁银丽，等，2020. 叶面喷施硒肥对 3 个葡萄品种果实产量、品质和硒含量的影响[J]. 应用生态学报，31(3)：953-958.]

ZHANG SB, 2020. Enrichments and Interactions of Zn, Co and Se during the Soybean Germination[D]. Guangzhou: South China University of Technology: 12-42. [张世博，2020. 黄豆发芽过程中 Zn、Co 和 Se 的富集及交互作用[D]. 广州：华南理工大学：12-42.]

ZHANG SQ, XU JL, HE ZS, et al., 2019. Sodium selenate ameliorates cardiac injury developed from high-fat diet in mice through regulation of autophagy activity[J]. Sci Rep, 9(9): 917-25.

ZHANG YF, QIN YH, HE MJ, et al., 2018. Preliminary study on the effect of yield and selenium content of banana by foliar spraying with different selenium fertilizers[J]. J Guangxi Agr, 33(6): 4-6. [张远飞，覃杨华，何明菊，等，2018. 不同含硒肥料叶面喷施对香蕉产量和硒含量的影响初报[J]. 广西农学报，33(6)：4-6.]

ZHAO W, 2011. Preliminary explanation of the mechanism about stimulation of selenium in rice seed germination[D]. Luoyang, Henan: Henan University of Science and Technology: 29-57. [赵巍，2011. 硒促进水稻种子萌发的生理机制初探[D]. 河南洛阳：河南科技大学：29-57.]

ZHAO ZQ, ZHENG HL, ZHANG CG, 2003. Advances in the studies on selenium in soil and selenium biological effect[J]. Chin J Ecol, 22(1): 22-25. [赵中秋，郑海雷，张春光，2003. 土壤硒及其与植物硒营养的关系[J]. 生态学杂志，22(1)：22-25.]